
Vorhangbeschichter und Vorhangbeschichtungsverfahren

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Vorhangbeschichtung eines bewegten Substrats, vorzugsweise einer flexiblen, endlos geförderten Bahn.

Das Vorhangbeschichten ist eines von vielen Verfahren zur Beschichtung von flexiblen, endlosen Bahnen mit einem dünnen Flüssigkeitsfilm. Das Verfahren eignet sich zum Auftragen von einer Schicht einer einzigen Flüssigkeit oder gleichzeitig mehreren Schichten verschiedener Flüssigkeiten. Das Vorhangbeschichtungsverfahren ist seit vielen Jahren bekannt und erforscht. Eine detaillierte Beschreibung liefern beispielsweise Miyamoto und Katagiri, *Curtain Coating*, in *Liquid Film Coating*, Chapter 11c, Chapman & Hall, New York 1997. In industriellen Anwendungen ist der Vorhang entweder breiter oder schmäler als die zu beschichtende Bahn. Falls ein Flüssigkeitsvorhang entlang seiner Falllinie seitlich nicht geführt wird, zieht er sich als Folge von Oberflächenspannungskräften zusammen. Dadurch geht die Kontrolle über die Vorhangbreite und deshalb auch über die Gießbreite beim Auftreffpunkt des Vorhangs auf der zu beschichtenden Bahn verloren. Aus diesen Gründen ist ein nicht geführter Vorhang in industriellen Anwendungen höchstens dann interessant, wenn der Vorhang wesentlich breiter ist als die zu beschichtende Bahn und nur aus einer einzigen Flüssigkeit besteht. In diesem Fall kann die Überschussflüssigkeit aufgefangen und wiederverwendet werden. In allen anderen Anwendungen, insbesondere wenn der Vorhang aus mehreren Flüssigkeitsschichten besteht, ist es sinnvoll, den Vorhang auf beiden Seiten vertikal zu führen, um die Vorhangsbreite konstant und Flüssigkeitsverluste klein zu halten. Für geführte Flüssigkeitsvorhänge ist ein Berandungssystem vorteilhaft.

Eine Vorbedingung für die erfolgreiche Anwendung des Vorhangbeschichtungsverfahrens ist ein stabiler Flüssigkeitsvorhang. Ein stabiler Vorhang zeichnet sich durch Robustheit gegenüber internen und externen Störungen aus, d. h. er kann durch die Störungen nicht permanent zerstört werden. Theoretische und experimentelle Untersuchungen der Stabilität von Flüssigkeitsvorhängen finden sich beispielsweise in Brown, D.R., 1961, A study of the behaviour of a thin sheet of moving liquid, J. Fluid Mechanics 10, Seiten 297-305 und Taylor, G.I. 1959, The dynamics of thin sheets of fluid, part III: Disintegration of fluid sheets, Proc. Roy. Soc. London A, Seiten 253-313. Danach lässt sich die Fallgeschwindigkeit V_v eines Flüssigkeitsvorhangs nach folgender Gleichung berechnen:

$$V_v^2 = V_0^2 + 2g [x - x_0] \quad (1)$$

V_0 ist die Anfangsgeschwindigkeit des Vorhangs, die abhängig ist von der Düsenform zur Erzeugung des Vorhangs, vorzugsweise eine Schlitz- oder Kaskadendüse, g ist die Erdbeschleunigung, x ist die Wegkoordinate in Fallrichtung des Vorhangs, wobei der Ursprung des Koordinatensystems der Ort der Entstehung des Vorhangs ist, beispielsweise die Düsenlippe einer Kaskadendüse. x_0 ist ein Maß für die Ausdehnung der Übergangszone, innerhalb der die Anfangsgeschwindigkeit V_0 in die freie Fallgeschwindigkeit übergeht. Abschätzungen der Größenordnung der einzelnen Terme in Gleichung (1) zeigen, dass V_0 und x_0 für ingeniermäßige Betrachtungen vernachlässigt werden dürfen. Die Fallgeschwindigkeit des Flüssigkeitsvorhangs kann deshalb näherungsweise mit Gleichung (2) berechnet werden:

$$V_v = \sqrt{2gx} \quad (2)$$

Andererseits wurde herausgefunden, dass sich punktförmige Störungen in einem Flüssigkeitsvorhang radial ausbreiten mit einer Geschwindigkeit V_s gemäß folgender Gleichung:

$$\underline{\underline{2\sigma}} \\ V_s = \sqrt{\rho H_v} \quad (3)$$

σ ist die Oberflächenspannung der Flüssigkeit, ρ ist die Flüssigkeitsdichte und H_V ist die Dicke des Vorhangs.

Auf der Basis obiger Erkenntnisse hat Brown für Flüssigkeitsvorhänge das folgende Stabilitätskriterium definiert:

$$V_V > V_S \quad (4)$$

Der Vorhang ist stabil, wenn die Fallgeschwindigkeit größer ist als die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Störungen im Vorhang. Unter dieser Bedingung können sich Störungen nicht entgegen der abwärts gerichteten Fallbewegung ausbreiten, sondern werden nach unten weggeschwemmt und können deshalb den Vorhang höchstens lokal und temporär, aber nicht katastrophal aufreißen.

Das Stabilitätskriterium (4) ist auch in folgender dimensionsloser Form bekannt:

$$We = \frac{\rho Q V_V}{\sigma} > 2 \quad (5)$$

Die dimensionslose Weberzahl We ist ein Maß für das Verhältnis von Trägheitskräften zu Oberflächenspannungskräften, die im Flüssigkeitsvorhang wirken.

Anhand der Gleichungen (4) und (5) kann geschlossen werden, dass die Stabilität von Flüssigkeitsvorhängen gefördert wird durch: Lange Vorhänge, dicke Vorhänge, geringe Oberflächenspannung der Flüssigkeit, hohe Dichte der Flüssigkeit, hohe Fallgeschwindigkeit, hoher Volumenstrom im Vorhang. In gleicher Weise kann geschlossen werden, dass die Vorhangsstabilität gefährdet ist oder gar verloren geht, wenn die Strömung im Vorhang die vorstehenden Eigenschaften nicht aufweist. Vorhangsstabilität ist bereits gefährdet, wenn obige Eigenschaften auch nur lokal, zum Beispiel entlang einer Vorhangsseitenführung, nicht vorhanden sind.

Zur Bildung eines Flüssigkeitsvorhangs kann insbesondere eine Schlitzdüse oder eine Kaskadendüse verwendet werden, wie sie beispielhaft von Miyamoto und Katagiri beschrieben werden. Bei einer Schlitzdüse bildet sich der Vorhang unmittelbar am Auslass des Düsenschlitzes. Bei einer Kaskadendüse hingegen fließt die Flüssigkeit nach Austritt aus dem Düsenschlitz zuerst in Form eines ein- oder mehrschichtigen Flüssigkeitsfilms auf der Düsenoberfläche bis zur Düsenlippe. Erst an der Düsenlippe verwandelt sich die Filmströmung in eine Vorhangströmung. Damit die Filmströmung auf der Düsenoberfläche in ihrer Breite wohl bestimmt bleibt, sollte sie seitlich mittels einer Düsenseitenberandung geführt werden. Wenn eine Flüssigkeit mit freier Oberfläche seitlich durch eine Wand begrenzt wird, befindet sich die Benetzungsline je nach Benetzungseigenschaften zwischen Flüssigkeit und Wandmaterial in Folge von Kapillarkräften bei guter Benetzung entweder oberhalb oder bei schlechter Benetzung unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche, wie beispielsweise Weinstein, S.J. und Palmer, A.J., Capillary hydrodynamics and interfacial phenomena, Chapter 2, in Liquid Film Coating, Chapman & Hall, New York 1997, beschreiben. Die Form der Flüssigkeitsoberfläche ändert sich deshalb entlang der Berandung. Die Veränderungen können besonders stark sein, wenn die Flüssigkeit entlang der Seitenberandung strömt. Dies wird beispielsweise von Schweizer, P.M., 1988, Visualisation of coating flows, J. Fluid Mechanics 193, Seiten 285-302, gezeigt.

Düsenseitenberandungen werden beispielsweise in der DE 30 37 612 C2 und der WO 94/08272 beschrieben. Die WO 94/08272 schlägt vor, dass die Düsenseitenberandung an ihrer stromabwärtigen Kante, bei der auch die Filmströmung der Düsenoberfläche in die Vorhangströmung übergeht, auf die Düsenoberfläche gemessen die gleiche Höhe haben sollte, wie die freie Filmströmung. Die Düsenseitenberandung weist zwischen ihrem stromaufwärtigen Abschnitt und ihrer stromabwärtigen Kante einen kurzen Übergangsabschnitt auf, in dem ihre auf die Düsenoberfläche gemessene Höhe sich zu der stromabwärtigen Kante in Form einer einfachen Schrägen verringert.

Die Fallkurve des Vorhangs ist stark von der für die Erzeugung des Vorhangs verwendeten Düsenart abhängig. Wird eine Schlitzdüse verwendet, so fällt der Vorhang im Wesentlichen vertikal in der Verlängerung des Düsenschlitzes, insbesondere wenn der Vorhang aus einer einzigen Flüssigkeit besteht. Wird hingegen eine Kaskadendüse zur

Vorhangerzeugung verwendet, dann ergibt sich in der Umgebung der Düsenlippe ein unsymmetrisches Strömungsfeld, das zu einer Ablenkung der Vorhangfallkurve von der Vertikalen führt. Insbesondere krümmt sich der Vorhang unterhalb der Düsenlippe nach hinten, was als „tea-pot effect“ bezeichnet wird (Kistler, S.F. und Scriven, L.E., 1994, The tea-pot effect: sheet forming flows with deflection, wetting and hysteresis, J. Fluid Mechanics 263, Seiten 19-62). Bei der Gestaltung der Vorhangsseitenberandung sollte dieser Effekt berücksichtigt werden. Wird eine stabförmige, d. h. linienhafte Seitenberandung verwendet, dann ergeben sich bei ausgeprägtem tea-pot Effekt starke Verzerrungen in der Vorhangrandzone, was die Stabilität des Vorhangs ungünstig beeinflusst, weil die geometrische Form der Seitenberandung mit der natürlichen Form der Vorhangfallkurve nicht übereinstimmt. Werden hingegen, wie in der EP 0 907 103 B1 offenbart, Platten als Seitenberandung verwendet, dann sind die störenden Randeffekte geringer, weil der Vorhang seine natürliche Fallkurve entlang der Seitenberandung beibehalten kann.

Die eigentliche Beschichtung findet dort statt, wo der Vorhang auf das bewegte Substrat auftrifft. Ziel der Beschichtung ist es, die Luft, die mit dem unbeschichteten Substrat in Berührung ist, durch die Vorhangflüssigkeit vollständig und gleichmäßig zu verdrängen. Im Querschnitt sieht das Strömungsfeld in der Vorhangauftreffzone wie die Ferse eines Fußes aus, wobei die dynamische Benetzungslinie dort liegt, wo die Ferse das Substrat berührt. Damit die Beschichtung quer zum Substrat gleichmäßig erfolgt und Lufteinschlüsse zwischen dem Substrat und der auftreffenden Vorhangflüssigkeit vermieden werden, sollte das Strömungsfeld der Vorhangauftreffzone eine ideale Form haben, d. h. die Vorhangferse sollte eine ideale Größe haben. Zudem sollte der Impuls des auftreffenden Vorhangs über einem Minimalwert liegen, damit Lufteinschlüsse vermieden werden können. Kriterien für eine optimale Fersengröße werden beispielsweise von Blake et al, 1994, Hydrodynamic assist of dynamic wetting, AIChE Journal 40 (2), Seiten 229-242 und Schweizer, P.M., Control and optimization of coating processes; in Liquid Film Coating, chapter 15, Chapman & Hall, New York 1997 formuliert. Danach liegt der Ort der dynamischen Benetzungslinie idealerweise im Bereich der hinteren Vorhangfläche. Der Ort der dynamischen Benetzungslinie kann mit Hilfe der Grenzschichttheorie näherungsweise berechnet werden. Er hängt von mehreren verfahrensrelevanten

Parametern ab, insbesondere auch von der Auftreffgeschwindigkeit des Vorhangs. Es ist deshalb vorteilhaft, wenn die Vorhangsseitenberandung so gestaltet wird, dass die Vorhangflüssigkeit an jedem Ort quer zu der Förderrichtung des Substrats mit der gleichen Geschwindigkeit auf das Substrat auftrifft. Insbesondere sollte der Randeffekt der Verzögerung durch Reibung so weit als möglich reduziert werden.

Um Reibungseffekte an dem Rand des Vorhangs zu vermeiden, wird beispielsweise in der US-PS 5,395,660 vorgeschlagen, die Seitenberandung mit einer niedrigviskosen Hilfsflüssigkeit zu benetzen, die an der Seitenberandung eine Grenzschicht bildet und so die Vorhangflüssigkeit von der Seitenberandung trennt. Die Trennschicht dieser Hilfsflüssigkeit wirkt wie ein Schmierfilm. Die Hilfsflüssigkeit wird mittels einer Trenn- und Saugeeinrichtung in der Nähe des Substrats aufgefangen und abgesaugt.

Nach der EP 0 907 103 wird die Schmierung optimiert, indem die Hilfsflüssigkeit der Seitenberandung so zugeführt wird, dass sie im Bereich ihrer von der Seitenberandung entfernten, dem Vorhang zugewandten Seite überall die gleiche Geschwindigkeit wie die Vorhangflüssigkeit hat. Im Vorhang selbst werden Bremseffekte dadurch vermieden. Um die Fallgeschwindigkeit der Hilfsflüssigkeit der Fallgeschwindigkeit des Vorhangs angepasst einzustellen, ist jedoch ein großer Volumenstrom der Hilfsflüssigkeit erforderlich. Der große Volumenstrom hat als weitere negative Folge, dass die Filmströmung der Hilfsflüssigkeit entlang der Vorhangsseitenberandung instabil wird und Wellen bildet, was wiederum die Stabilität des Vorhangs ungünstig beeinflusst. Andererseits führen die geometrische Gestaltung der Abrisskante und der Betrieb eines Saugschlitzes am unteren Ende der Vorhangsseitenberandung dazu, dass nicht alle Hilfs- und Randflüssigkeit abgesaugt werden kann. In der Folge bildet sich je nach den speziellen Betriebsbedingungen eine Randzone in der Vorhangauftreffzone, in der die Beschichtungsbedingungen schlechter sind als im Zentrum des Vorhangs. Insbesondere wird in der Randzone oft Luft schon bei tieferen Substratgeschwindigkeiten eingezogen als im Zentrum des Vorhangs. Ferner wird beobachtet, dass sich der Vorhang bei starkem teapot Effekt so stark nach hinten bewegt, dass er die plattenförmige Seitenberandung verlässt, wodurch wiederum die Vorhangsstabilität ungünstig beeinträchtigt wird. Diese Situation tritt besonders häufig bei langen Vorhängen ab etwa 150 mm auf. Eine

Verbreiterung der plattenförmigen Seitenberandung würde zwar erlauben, auch stark abgelenkte Vorhänge über große Fallhöhen noch zu halten. Es würden sich aber neue Probleme am unteren Ende der Seitenberandung in Form von großen Randwulsten auf der beschichteten Bahn ergeben, besonders dann, wenn der Vorhang nicht auf eine horizontale, sondern auf ein gekrümmtes, von einer Gegenwalze gestütztes Substrat auftrifft. Schließlich wurde beobachtet, dass die Seitenberandung der EP 0 907 103 B1 je nach Betriebsbedingungen, keine geometrisch schön definierten Ränder produziert, sondern Ränder, die ausgefranst und überdick sind, oft nicht getrocknet werden können und beim Aufwickeln von als Bahnen gebildeten beschichteten Substraten Probleme in Form von Teleskopieren schaffen. Der Grund für diese Probleme liegt in der geometrischen Gestaltung der Unterseite der Vorhangsseitenberandung. Insbesondere ergibt sich zwischen der Unterseite und der zu beschichtenden Bahn ein enger konischer Spalt. Falls Flüssigkeit in diesen Spalt gelangt, z. B. beim Anfahren des Gießvorgangs, wird die Flüssigkeit durch Kapillarkräfte in dem Spalt festgehalten und verursacht dadurch die schlechten Ränder.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, Randeffekte, die das Beschichtungsergebnis nachteilig beeinflussen, zu verringern.

Insbesondere ist es eine Aufgabe, eine Seitenführung für einen Flüssigkeitsvorhang zu schaffen, die im Vergleich zu einer plattenförmigen Seitenführung die Falllinie des Vorhangs exakter bestimmt, Spannungskräfte im Vorhang aber dennoch gering hält. Grenzschichteffekte sollten reduziert werden.

Die Erfindung betrifft einen Vorhangbeschichter für die Beschichtung eines bewegten Substrats, vorzugsweise einer flexiblen, endlos geförderten Bahn. Der Vorhangbeschichter weist eine Düsenvorrichtung, vorzugsweise eine Kaskadendüse oder Schlitzdüse, für die Erzeugung eines auf das Substrat fallenden Vorhangs und eine Vorhangführungsstruktur mit einer Führungsfläche auf, die den Vorhang entlang einer seiner beiden Seiten führt. Die Düsenvorrichtung kann insbesondere so ausgebildet sein, dass sie einen mehrschichtigen Vorhang bilden kann.

Nach der Erfindung ist die Führungsfläche über eine quer zu dem Vorhang gemessene, die Vorhangdicke wesentlich übertreffende Breite zu dem Vorhang konvex. Die Seitenführung ist demnach nicht linienhaft, wie sie mit einem dünnen Stab gebildet wird. In der Höhe erstreckt sie sich vorteilhafterweise bis möglichst nah an die Düsenlippe, idealerweise bis zur Düsenlippe, und gegenüberliegend bis möglichst nah zu dem Substrat, wobei in bevorzugten Ausführungen zwischen der Führungsfläche und dem Substrat noch ein Abstand verbleibt, der für die Anordnung einer Auffangeinrichtung einer Hilfsflüssigkeit, die an der Führungsfläche einen Schmierfilm bildet, und eine Saugeinrichtung zum Absaugen der Hilfsflüssigkeit ausreicht. Vorzugsweise ist zu beiden Seiten des Vorhangs eine Vorhangsführungsstruktur mit einer Führungsfläche nach der Erfindung vorgesehen.

Aufgrund der konvexen Form weist die Führungsfläche quer zum Vorhang gesehen einen mittleren, vorstehenden Bereich und beidseits des mittleren Bereichs demgegenüber zurücktretende Seitenbereiche auf. Wenn auf den Vorhang Störungskräfte wirken, beispielsweise aufgrund von Luftströmungen oder aufgrund des tea-pot Effekts, ist die Vorhangströmung zur Minimierung ihrer Oberflächenspannungskräfte bestrebt, in dem mittleren Bereich der Führungsfläche zu verbleiben oder sich in Richtung auf den mittleren Bereich zu bewegen. Die Führungsfläche gibt dem Vorhang somit überall eine lokale Gleichgewichtslage vor, aus der er zwar aufgrund von Störungen ausgelenkt werden kann, wobei er jedoch stets noch an die Führungsfläche angebunden ist, und zu der er aufgrund der sich bei der Auslenkung erhöhenden Spannungskräfte natürlicherweise zurückstrebt. Da der Vorhang andererseits quer zur Vorhangsfäche entlang der Führungsfläche wandern kann, sind die dadurch im Vorhang erzeugten Spannungskräfte kleiner als bei einer stabförmigen, d. h. linienhaften, Seitenführung, die ein Nachgeben des Vorhangs an seinen Rand unter dem Einfluss von Störungskräften nicht erlaubt.

Die Kontur der Führungsfläche ist über ihre gesamte Breite kontinuierlich, d. h. stetig, so dass sich bei Auslenkungen des Vorhangs dessen Spannungskräfte nicht abrupt, sondern dem Verlauf der Kontur entsprechend nur allmählich verändern. Obgleich die Konvexität der Führungsfläche auch mittels einer aus geraden Linien zusammengesetzten Kontur mit vorzugsweise weichen Übergängen erhalten werden kann, wird es bevorzugt, wenn die Führungsfläche quer zu dem Vorhang, d. h. in Horizontalschnitten, überall gekrümmmt ist.

Der Krümmungsradius der Führungsfläche sollte über deren gesamte Breite überall stetig differenzierbar sein. Diese Forderung wird insbesondere von einer Zylinderfläche erfüllt. Eine besonders einfache und nicht zuletzt deshalb bevorzugte Führungsfläche ist ein Umfangssegment einer Kreiszylinderfläche. Der Krümmungsradius der Führungsfläche sollte wenigstens 5 mm und höchstens 50 mm betragen, wobei dies in allen Horizontalschnitten der Vorhangsführungsstruktur für den bevorzugt überall konstanten Krümmungsradius, aber auch im Falle eines veränderlichen Krümmungsradius gelten soll.

In einer Weiterbildung der Erfindung wird über der gesamten Führungsfläche ein Grenzschichtfilm einer Hilfsflüssigkeit gebildet, der die Vorhangsflüssigkeit von der Führungsfläche trennt und vorzugsweise über die Fallhöhe des Vorhangs zumindest an seiner dem Vorhang zugewandten Außenseite die lokale Fallgeschwindigkeit des Vorhangs aufweist. Bezuglich der Bildung des Schmierfilms wird auf die EP 0 907 103 B1 hingewiesen. Deren Lehre ist für die Bildung des Grenzschichtfilms auf die erfindungsgemäße Form der Führungsfläche übertragbar.

Die Vorhangsführungsstruktur ist vorzugsweise ein Hohlprofil mit einem Hohlraum und einem den Hohlraum umgebenden Mantel, der an einer äußeren Oberfläche die Führungsfläche bildet und über die gesamte Führungsfläche vorzugsweise eine gleichmäßige Durchlässigkeit für die Hilfsflüssigkeit aufweist. Die Durchlässigkeit kann zwar unter anderem auch durch mechanisches Bohren oder Lasern eines sonst undurchlässigen Materials erhalten werden, bevorzugter ist die Vorhangsführungsstruktur jedoch zumindest in ihrem die Führungsfläche bildenden Bereich aus einem porösen Werkstoff gefertigt mit offener Porosität. Das Hohlprofil kann mehrteilig sein, wobei die Führungsfläche ein Wandteil des Hohlprofils bildet, bevorzugt ist es jedoch einteilig als Rohr gebildet, vorzugsweise als überall poröses Rohr. Falls das Hohlprofil über seinen gesamten Umfang durchlässig für die Hilfsflüssigkeit ist, wird es bevorzugt, wenn es in seinem Umfangssegment außerhalb der Führungsfläche abgedichtet ist, vorzugsweise an seiner äußeren Oberfläche, um den Volumenstrom der Hilfsflüssigkeit gering zu halten.

Die Führungsfläche ist bezüglich ihrer Position relativ zur Düsenvorrichtung und dem Substrat vorzugsweise bewegbar gelagert, um ihre Position optimal einstellen zu können.

Die Bewegbarkeit sollte wenigstens quer zur Förderrichtung des Substrats zwecks Justierung der Breite des Vorhangs gegeben sein. Eine Bewegbarkeit zur Höhenjustierung der Führungsfläche ist ebenfalls vorteilhaft. Schließlich ist auch eine Verstellung in und gegen die Förderrichtung des Substrats von Vorteil.

Zusätzlich oder statt dessen kann es auch vorteilhaft sein, wenn die Führungsfläche zur Vertikalen um einen kleinen Winkel geneigt werden kann, um beispielsweise die Breite des Vorhangs in Fallrichtung variieren, vorzugsweise verringern, zu können und/oder trotz eines tea-pot Effekts exakt den gewünschten Auftreffort auf dem Substrat zu treffen. Anstatt oder zusätzlich zu einer rein translatorischen Verstellbarkeit ist somit eine Drehverstellbarkeit ebenfalls vorteilhaft. Die Führungsfläche, vorzugsweise die Vorhangsführungsstruktur, ist vorteilhafterweise für die Einstellung auf einem Koordinatentisch entsprechend ihrer Verstellmöglichkeit(en) verstellbar gelagert.

In einer Weiterentwicklung werden die Strömungsverhältnisse in der Beschichtungsflüssigkeit oder den mehreren geschichteten Beschichtungsflüssigkeiten nicht nur in der Randzone der Vorhangströmung, sondern auch in der Randzone der Filmströmung der Düsenvorrichtung verbessert. Die Verbesserung zielt auf Düsenvorrichtungen ab, die eine zur Horizontalen geneigte Düsenoberfläche, eine Austrittsöffnung, durch die die Beschichtungsflüssigkeit der Düsenoberfläche so zuführbar ist, dass die Beschichtungsflüssigkeit auf der Düsenoberfläche eine abwärts strömende Filmströmung bildet, ferner eine Düsenlippe, die ein stromabwärtiges Ende der Düsenoberfläche bildet, an dem die Filmströmung in die Vorhangströmung übergeht, und schließlich eine Düsenseitenberandung zur seitlichen Begrenzung der auf der Düsenoberfläche strömenden Filmströmung aufweisen. Die Düsenseitenberandung weist nach der Erfindung von der Düsenlippe bis zu einer Stelle stromaufwärts von der Düsenlippe überall eine auf die Düsenoberfläche gemessene Höhe auf, die der jeweils lokalen Dicke der freien Filmströmung außerhalb der Grenzschicht an der Seitenberandung zumindest im Wesentlichen, vorzugsweise genau, entspricht. Die Anpassung der Berandungshöhe an die im Verlauf sich verändernde Dicke der freien Filmströmung, d. h. auf deren Gleichgewichtsdicke, bewirkt, dass die Filmströmung die Düsenseitenberandung

weder überströmt noch aufgrund Kapillarwirkung an ihr hochgezogen wird. Hierdurch können Materialflüsse quer zu der zur Düsenlippe weisenden Strömungsrichtung verringert werden.

Der Längenabschnitt der Düsenseitenberandung, der in dieser Weise an die Dicke der freien Filmströmung angepasst ist, erstreckt sich vorzugsweise bis wenigstens zu der Austrittsöffnung. Falls in Strömungsrichtung hintereinander zur Bildung einer mehrschichtigen Filmströmung mehrere Austrittsöffnungen vorgesehen sind, sollte sich der derart in seiner Höhe angepasste Längenabschnitt der Düsenseitenberandung bis zu der stromaufwärtigsten Stelle erstrecken, an der eine Schicht auf die nächste aufläuft, vorzugsweise bis zu der stromaufwärtigsten der Austrittsöffnungen. Je weniger die Filmströmung auf der Düsenoberfläche entlang der Düsenseitenberandung gestört wird und deshalb die Dicke des Flüssigkeitsfilms entlang der Düsenseitenberandung wegen Kapillareffekten ungleichförmig ist, desto gleichförmiger kann der sich unterhalb der Düsenlippe bildende Flüssigkeitsvorhang eingestellt werden.

Vorteilhaft ist die Bildung des oberen Rands der Düsenseitenberandung in Form einer Kante. Bewegungen einer Benetzungslinie entlang einer festen Oberfläche können nämlich gehemmt werden, wenn die Benetzungslinie an einer Kante haftet. Dabei nimmt der Hemmeffekt mit kleiner werdendem Winkel zu. Dieser Effekt wird beispielsweise von Oliver, J.F. et al, 1977, Resistance to spreading of liquids by sharp edges, J. Colloid and Interface Science 59 (3), Seiten 568-581 beschrieben. Die Kante ist im Idealfall eine Messerschneide. Dadurch wird der Randbereich der Filmströmung minimal gestört, was sich auf die Stabilität der nachfolgenden Vorhangströmung optimal günstig auswirkt. Die Bildung der Kante als Messerschneide ist jedoch aus Gründen der mechanischen Stabilität und der Betriebssicherheit bzw. Verletzungsgefahr nicht möglich. Als Kompromiss sollte der eingeschlossene Kantenwinkel aus dem Bereich von 30° bis 90° gewählt werden. Kantenwinkel kleiner als 80° oder kleiner als 70° werden bevorzugt. Durch die Formung des oberen Rands der Düsenseitenberandung als spitzwinklige Kante kann von dem Ideal der an die freie Filmströmung exakt angepassten Höhe der Düsenseitenwandberandung in gewissen Grenzen abgewichen werden, solange die Benetzungslinie an der Kante auch

dann haftet, wenn die Höhe der Seitenberandung von der Dicke des Flüssigkeitsfilms abweicht.

In noch einer Weiterentwicklung der Düsenvorrichtung, die vorteilhafterweise gemeinsam mit der Höhenanpassung und/oder Kantung des oberen Rands der Düsenseitenwandberandung zusammenwirkt, aber auch bereits allein vorteilhaft ist, umfasst die Düsenvorrichtung eine Flüssigkeitszuführung für eine zumindest abschnittsweise Benetzung der Düsenseitenberandung mit einer als Schmiermittel wirkenden Hilfsflüssigkeit, um zumindest in einem Längenabschnitt der Düsenseitenberandung einen Schmierfilm zu bilden, der die Filmströmung der Beschichtungsflüssigkeit oder der mehreren Beschichtungsflüssigkeiten von der Düsenseitenberandung trennt. Die Oberflächenspannung der Hilfsflüssigkeit sollte größer sein als die Oberflächenspannung der Beschichtungsflüssigkeit oder im Falle von mehreren unterschiedlichen Beschichtungsflüssigkeiten größer sein als die größte Oberflächenspannung der Beschichtungsflüssigkeiten. Insbesondere kann die Düsenseitenberandung in einem Wandabschnitt für die Hilfsflüssigkeit durchlässig gebildet sein, vorzugsweise mittels eines dort die Wand bildenden porösen Werkstoffs. Die Form des flüssigkeitsdurchlässigen Wandbereichs bestimmt sich nach den für die Form der Düsenseitenberandung gegebenen Verhältnisse.

Obgleich jeder der vorstehend diskutierten Aspekte, nämlich die Seitenführung für den Vorhang und die mehreren Ausgestaltungen der Seitenberandung der Düsenvorrichtung je für sich genommen vorteilhaft sind, sollten mehrere dieser Aspekte, vorteilhafterweise alle Aspekte gemeinsam und abgestimmt bei einer Vorrichtung und/oder einem Verfahren zur Vorhangbeschichtung verwirklicht sein, um das Beschichtungsergebnis zu optimieren. Obgleich die verschiedenen Weiterentwicklungen der Düsenvorrichtung unter der erfindungsgemäßen Seitenführung des Flüssigkeitsvorhangs subsumiert sind, ist jede der Weiterentwicklungen der Düsenvorrichtung für sich genommen mit anderen Vorhangsseitenführungen vorteilhaft kombinierbar und auch bereits ohne Vorhangsseitenführung vorteilhaft.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden auch in den Unteransprüchen und deren Kombinationen offenbart.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand von Figuren erläutert. An den Ausführungsbeispielen offenbar werdende Merkmale bilden je einzeln und in jeder Merkmalskombination die Gegenstände der Ansprüche und die vorstehend beschriebenen Ausführungen vorteilhaft weiter. Es zeigen:

- Figur 1 einen Vorhangbeschichter mit einer als Schlitzdüse gebildeten Düsenvorrichtung,
- Figur 2 einen Vorhangbeschichter mit einer als Kaskadendüse gebildeten Düsenvorrichtung,
- Figur 3 die Düsenvorrichtung der Figur 2 in einem strömungsparallelen Schnitt,
- Figur 4 die Düsenvorrichtung der Figur 3 in einem Schnitt quer zur Strömungsrichtung,
- Figur 5 eine modifizierte Düsenvorrichtung in einem strömungsparallelen Schnitt,
- Figur 6 die Düsenvorrichtung der Figur 5 in einem Schnitt quer zu der Strömungsrichtung,
- Figur 7 eine Vorhangsseitenführung,
- Figur 8 einen Querschnitt durch die Vorhangsseitenführung,
- Figur 9 das Ablegen eines frei fallenden Flüssigkeitsvorhangs auf einem Substrat,
- Figur 10 die Vorhangsseitenführung mit einer Trenn- und Saugeeinrichtung in einem Vertikalschnitt,
- Figur 11 eine Saugvorrichtung zum Absaugen eines Randes der auf dem Substrat abgelegten Beschichtung in einem Vertikalschnitt und
- Figur 12 die Saugvorrichtung der Figur 11 in einer Draufsicht auf das Substrat.

Figur 1 zeigt einen Vorhangbeschichter mit einer Düsenvorrichtung 4, die in einem lichten Abstand vertikal über einer Walze 3 angeordnet ist. Die Walze 3 dient als Umlenkeinrichtung, oder allgemeiner ausgedrückt als Abstützeinrichtung, für ein zu beschichtendes Substrat 1, das umschlingend über die Walze 3 gefördert wird. Das Substrat 1 ist eine endlos geförderte, flexible Bahn. Die Düsenvorrichtung 4 ist eine

Schlitzdüse, in der getrennte Zuführungen für mehrere, im Ausführungsbeispiel zwei, verschiedene Beschichtungsflüssigkeiten gebildet sind. Die Zuführungen laufen an einem dem Substrat 1 zugewandten unteren Ende der Düsenvorrichtung 4 in einer Düsenaustrittsöffnung zusammen. Die Austrittsöffnung erstreckt sich schlitzförmig quer zu der Förderrichtung des Substrats 1 über eine Breite, die größer ist als die zu erzielende Beschichtungsbreite des aus dem Substrat 1 und der Beschichtung 2 gebildeten Produkts. Grundsätzlich kann die Breite solch einer Austrittsöffnung aber auch kleiner als die zu erzielende Beschichtungsbreite sein. Die beiden Beschichtungsflüssigkeiten verlassen die Austrittsöffnung der Düsenvorrichtung 4 frei fallend als zweischichtiger Flüssigkeitsvorhang V. Die Düsenvorrichtung 4 ist relativ zu der Walze 3 so angeordnet, dass der Vorhang V mit einer Drehachse der Walze 3 eine vertikale Ebene aufspannt, wenn der Vorhang V nicht gestört wird.

Figur 2 zeigt einen Vorhangbeschichter mit einer Düsenvorrichtung 4, die als Kaskadendüse gebildet ist. Sie weist eine Düsenoberfläche 5 auf, die zur Horizontalen geneigt ist, so dass eine der Düsenoberfläche 5 zugeführte Beschichtungsflüssigkeit auf der Düsenoberfläche 5 abwärts bis zu einer das stromabwärtige Ende der Düsenoberfläche 5 bildenden Düsenlippe 6 strömt und über die Düsenlippe 6 hinaus strömend in den frei fallenden Vorhang V übergeht. Der Düsenoberfläche 5 werden über Austrittsöffnungen 7 der Anzahl der Austrittsöffnungen 7 entsprechend mehrere unterschiedliche Beschichtungsflüssigkeiten zugeführt, die auf der Düsenoberfläche 5 in bekannter Weise eine mehrschichtige Filmströmung F bilden, die über die Düsenlippe 6 in den Vorhang V abströmt. Die Austrittsöffnungen 7 sind schlitzförmig und erstrecken sich quer über die Breite der Düsenoberfläche 5. Die Düsenoberfläche 5 ist in ihrem sich über die Austrittsöffnungen 7 erstreckenden, stromaufwärtigen Abschnitt plan, d. h. sie bildet dort eine schiefe Ebene. In einem sich anschließenden stromabwärtigen Abschnitt ist die Düsenoberfläche 5 gekrümmt, wobei ihre Neigung allmählich zunimmt, um einen kontinuierlichen Übergang zu dem stromabwärtigen Ende der Düsenlippe 6 zu schaffen.

Figur 3 zeigt die Düsenvorrichtung 4 der Figur 2 in einem Vertikalschnitt mit Blick auf eine Seitenberandung 8 der Düsenoberfläche 5. Die Seitenberandung 8 erstreckt sich parallel zu der Strömungsrichtung der freien Filmströmung und begrenzt diese in

Querrichtung. Eine gleiche Seitenberandung 8 begrenzt die Filmströmung F an ihrem anderen Rand. Die Seitenberandung 8 erstreckt sich von dem stromabwärtigen Ende der Düsenlippe 6 bis zu der stromaufwärtigsten Austrittsöffnung 7 und im Ausführungsbeispiel ein Stück weit darüber hinaus. Sie weist überall eine auf die Düsenoberfläche 5 gemessene Höhe auf, die der jeweils auf gleicher Strömungshöhe gemessenen Dicke der freien Filmströmung im zentralen Bereich zwischen den beiden Seitenberandungen 8 entspricht. Aufgrund dieser angepassten Höhe weist die Filmströmung F auf jeder Strömungshöhe über ihre gesamte Breite, d. h. auch in ihren beiden Randbereichen, zumindest im Wesentlichen die gleiche, daher gleichmäßige Dicke auf.

Die Dicke der Filmströmung F hängt nicht nur vom Neigungswinkel der Düsenoberfläche 5 ab, sondern auch von der Dichte, der Viskosität und dem Verhältnis aus Volumenstrom und Breite der Filmströmung F. Bei mehrschichtigen Filmen müssen Dichte, Viskosität und Volumenstrom/Breite von jeder der den Film bildenden Flüssigkeiten berücksichtigt werden. Zur Berechnung der Dicke von ein- und zweischichtigen Filmströmungen können bekannte analytische Formeln verwendet werden, wobei die Viskosität bei den lokal vorherrschenden, meist tiefen Scherraten genommen wird. Bei Filmströmungen von drei und mehr Schichten werden numerische Verfahren zur Berechnung der lokalen Dicke der Filmströmung F verwendet.

Da sich der Neigungswinkel der Düsenoberfläche 5 von typischerweise 15° bis 30° im stromaufwärtigen Abschnitt zu typischerweise 90° im stromabwärtigen Abschnitt ändert, ändert sich entsprechend auch die Dicke der Filmströmung F. Bei mehrschichtigen Filmen F ändert sich die Schichtdicke auch zwischen benachbarten Austrittsöffnungen 7 im stromaufwärtigen Abschnitt der Düsenoberfläche 5, auch bei dort konstantem Neigungswinkel. Die Seitenberandung 8 ist in der beschriebenen Weise insbesondere über den stromabwärtigen Abschnitt der Düsenoberfläche 5 an die Dicke der freien Filmströmung F angepasst. Vorteilhafterweise ist die Höhe der Berandung 8 auch in dem die Austrittsöffnungen 7 umfassenden, stromaufwärtigen Abschnitt der Düsenoberfläche 5 in gleicher Weise an die dortige lokale Dicke der freien Filmströmung angepasst, indem sich die Höhe der Seitenberandung 8 dort ändert, vorteilhafterweise in den Bereichen, in denen eine bereits auf der Düsenoberfläche 5 abwärts strömende Schicht auf eine nächste

aufläuft. Dabei genügt es, wie im Ausführungsbeispiel angedeutet, wenn sich die Höhe der Seitenberandung 8 an den entsprechenden Stellen jeweils in Stufen ändert und dazwischen konstant bleibt. Im stromabwärtigen Abschnitt, in dem sich die Düsenoberfläche 5 stärker krümmt, sollte sich die Höhe der Seitenberandung 8 in möglichst enger Anpassung an die Dicke der freien Filmströmung F und somit stetig differenzierbar ändern.

Figur 4 zeigt die Düsenvorrichtung 4 der Figur 3 in einem Schnitt quer zur Strömungsrichtung der freien Filmströmung F in dem stromabwärtigen Abschnitt der Seitenberandung 8 und der Düsenoberfläche 5. Die Seitenberandung 8 bildet als oberen Rand eine spitzwinklige Kante 9. Insbesondere bildet sie die spitzwinklige Kante 9 in ihrem bis zu dem stromabwärtigen Ende der Düsenlippe 6 sich erstreckenden stromabwärtigen Abschnitt. Vorzugsweise bildet sie eine spitzwinklige Kante 9 an ihrem oberen Rand über die gesamte Länge des stromabwärtigen Abschnitts, besonders bevorzugt über ihre gesamte, die Filmströmung F seitlich begrenzende Länge. An der Kante 9 treffen die der Filmströmung F zugewandte Innenwand und ein oberer Teil der äußeren Oberfläche der Seitenberandung 8 unter Einschluss eines spitzen Kantenwinkels α zusammen. Je kleiner der eingeschlossene Winkel α ist, desto besser haftet die statische Benetzungs linie der Filmströmung F an der Kante 9. Insbesondere haftet die Benetzungs linie auch an der Kante 9, wenn die Höhe der Seitenberandung 8 nicht exakt mit der Dicke der freien Filmströmung F übereinstimmt. Als Kompromiss zwischen einer starken Kantenhaftung einerseits und ausreichender mechanischen Stabilität sowie Betriebssicherheit andererseits wird der eingeschlossene Kantenwinkel α aus dem Bereich zwischen 30° und 90° gewählt, gegebenenfalls mit einem Kantenwinkel α , der zu dem stromabwärtigen Ende der Düsenlippe 6 hin abnimmt und dort sogar unterhalb der genannten 30° liegen kann. Eine Vergleichmäßigung der Dicke der Filmströmung F an ihren Rändern ist vor allem im Bereich der Düsenlippe 6 und dem Übergang von der Filmströmung F in die Vorhangströmung V an dem stromabwärtigen Ende der Düsenlippe 6 vorteilhaft, um aus der Randzone der Filmströmung F möglichst wenig Störungen in die Vorhangströmung V einzutragen.

Die Figuren 5 und 6 zeigen die Seitenberandung 8 wieder in einem Schnitt parallel zur Strömungsrichtung der freien Filmströmung F und in einem Schnitt quer dazu. Die

Seitenberandung 8 der Figuren 5 und 6 ist gegenüber der Seitenberandung 8 der Figuren 3 und 4 weiterentwickelt, indem die Ausdehnung einer viskosen Grenzschicht entlang der Seitenberandung 8 aktiv verringert wird. Vorteilhaft ist die Verringerung der Ausdehnung der Grenzschicht vor allem bei Beschichtungsflüssigkeiten mit hoher Viskosität. Die Flüssigkeit der Filmströmung wird innerhalb der Grenzschicht in Folge von Zähigkeitskräften gegenüber der Gleichgewichtsgeschwindigkeit außerhalb der Grenzschicht, d. h. der Strömungsgeschwindigkeit der freien Filmströmung, gebremst. Die Bremswirkung kann zu unerwünschten Störungen führen, wenn die Grenzschichtflüssigkeit in den Vorhang V einströmt. Eine Verminderung der Grenzschichtdicke entlang der Seitenberandung 8 der Filmströmung F und quer zur Strömungsrichtung der freien Filmströmung F wird dadurch erreicht, dass zwischen die Flüssigkeit der Filmströmung F und die Seitenberandung 8 ein dünner Film S einer als Schmiermittel wirkenden, niedrigviskosen Flüssigkeit eingebracht wird. Solch ein Schmierfilm S wird erzeugt, indem mindestens ein Längenabschnitt der Seitenberandung 8 als poröse Wand gebildet ist, durch die die zugeführte Hilfsflüssigkeit strömt, an der Innenwand der Seitenberandung 8 austritt und selbst eine dünne Grenzschicht bildet.

Die poröse Wand wird von einer porösen, im Ausführungsbeispiel als Platte gebildeten Wandstruktur 10 gebildet, die in die Seitenberandung 8 eingesetzt ist. Die poröse Wandstruktur 10 erstreckt sich bis auf die Düsenoberfläche 5, im Ausführungsbeispiel sogar über die Düsenoberfläche hinaus nach unten, bildet jedoch nicht den wieder als spitzwinklige Kante 9 gebildeten oberen Rand der Seitenberandung 8. Falls die Seitenberandung 8 nicht auf der Düsenoberfläche 5 aufsitzt, sondern seitlich über diese hinausragend angeordnet ist, beispielsweise wie gezeigt, kann die Höhe der Seitenberandung 8 auch vergleichsweise einfach verstellt werden. Die Wandstruktur 10 sollte sich in allen Positionen einer höhenverstellbaren Seitenberandung 8 bis wenigstens auf die Höhe der Düsenoberfläche 5 erstrecken. Die Wandstruktur 10 schließt an der Innenseite, die zu der Filmströmung F weist, bündig mit der Restfläche der Seitenberandung 8 ab. In der Seitenberandung 8 ist eine Flüssigkeitszuführung 11 gebildet, die sich bis zu der von der Filmströmung F abgewandten Rückseite der porösen Wandstruktur 10 erstreckt und sich dort zu einem Hohlraum aufweitet, der die gesamte Rückseite der Wandstruktur 10 überdeckt, so dass diese gleichmäßig an ihrer Rückseite

mit der zugeführten Hilfsflüssigkeit druckbeaufschlagt wird. Die Hilfsflüssigkeit strömt aufgrund ihres Drucks und der Porosität der Wandstruktur 10 durch diese hindurch und bildet an deren Innenfläche den in Figur 6 angedeuteten dünnen Schmierfilm S. Mittels der Zuführung der Hilfsflüssigkeit durch die durchlässige Wandstruktur 10 hindurch werden Störungen durch die Hilfsflüssigkeit gering gehalten. Ein besonders geeigneter Ort für die Bildung des Schmierfilms S ist der Abschnitt der Seitenberandung 8 zwischen der stromabwärtigsten der Austrittsöffnungen 7 und dem Beginn der zunehmenden Krümmung der Düsenoberfläche 5. Die Wandstruktur 10 sollte sich über die gesamte Länge dieses Abschnitts erstrecken. Als niedrigviskose Hilfsflüssigkeiten eignen sich insbesondere Wasser für wässrige Beschichtungsflüssigkeiten und organische Lösungsmittel für Flüssigkeiten, welche aus organischen Komponenten bestehen.

An das im Bereich der Düsenvorrichtung 4 gebildete erste Teilsystem der Seitenberandung schließt sich als zweites Teilsystem eine Vorhangsseitenführung an. Diese erstreckt sich von der Düsenlippe 6 bis unmittelbar oberhalb des Substrats 1. Die Vorhangsseitenführung ist an beiden Längsseiten des Vorhangs V vorzugsweise gleich gebildet und in der Anordnung symmetrisch zum Vorhang.

Figur 7 zeigt eine Seite der Vorhangsseitenführung herausgelöst aus dem Vorhangbeschichter. Über die Breite des Vorhangs V gegenüberliegend beabstandet ist eine ebensolche Vorhangsseitenführung vorgesehen. Die Vorhangsseitenführung bildet eine Führungsfläche 17, die in Bezug auf den Vorhang V konvex ist. Im Ausführungsbeispiel ist die zum Vorhang sich wölbende Führungsfläche 17 kreiszyndrisch, wobei die Zylinderachse im Vorhangbeschichter vertikal oder zumindest im Wesentlichen vertikal weist.

Wie in dem Querschnitt der Figur 8 erkennbar, ist die Führungsfläche 17 ein langgestrecktes Umfangssegment einer Vorhangsführungsstruktur 15, die als kreisrundes Rohr gebildet ist. Die Vorhangsführungsstruktur 15 ist in einem Halter 18 so befestigt, dass sie nur mit ihrer Führungsfläche 17 aus dem Halter 18 zum Rand des Vorhangs V hin vorsteht. Das Rohr 15 ist insgesamt porös, d. h. über seinen gesamten Umfang und seine gesamte Länge. Es weist einen konstanten Außendurchmesser auf, der in Abhängigkeit

von der Länge des Rohrs 15 aus dem Bereich von 10 bis 30 mm gewählt wird. In den vor dem Rohrmantel umschlossene Hohlraum 16 wird eine niedrigviskose Hilfsflüssigkeit gefördert. Hierfür ist das Rohr 15 über den Halter 18 mit einer Zuführung 20 für die Hilfsflüssigkeit verbunden. Eingezeichnet ist ferner eine Abführung 21 für Flüssigkeit. Die Hilfsflüssigkeit weist eine Oberflächenspannung auf, die größer ist als die Oberflächenspannung der Beschichtungsflüssigkeit und im Falle eines mehrschichtigem Vorhangs V größer ist als die größte der Oberflächenspannungen der mehreren Beschichtungsflüssigkeiten. Für wässrige Beschichtungsflüssigkeiten eignet sich Wasser als Hilfsflüssigkeit. Für Beschichtungsflüssigkeiten, die aus organischen Komponenten bestehen, eignen sich organische Lösemittel als Hilfsflüssigkeit.

Um den Volumenstrom an Hilfsflüssigkeit gering zu halten, ist das Rohr 15 über seine gesamte äußere Oberfläche außerhalb der Führungsfläche 17 abgedichtet, so dass dort die Hilfsflüssigkeit nicht austreten kann. Die Abdichtung ist in Figur 8 mit dem Bezeichnern 19 bezeichnet. Die Führungsfläche 17 erstreckt sich in Umfangsrichtung über einen Winkel η , der weniger als 180° beträgt. Vorzugsweise überdeckt die Führungsfläche 17 einen Winkel η , der zwischen 70° und 120° beträgt.

Die Wandstärke des Rohrs 15 variiert über dessen Länge, d. h. über die Höhe des Vorhangs V. Die Variation ist in Figur 8 und besser noch in Figur 10 zu erkennen. Die Variation ist derart, dass der Hohlraum 16 einen in Längsrichtung des Rohrs 15 erstreckten Konus bildet mit einem kleinsten Durchmesser d am unteren Ende und einem größtem Durchmesser am oberen Ende des Rohrs 15. Die Berechnung geeigneter Wandstärken des Rohrs 15 ist in der EP 0 907 103 B1 beschrieben. Der Außendurchmesser des porösen Rohrs 15 hängt von der Rohrlänge bzw. von der Vorhangshöhe ab. Er wird so gewählt, dass die geringste Wandstärke mindestens 1 bis 3 mm und der geringste Durchmesser des Hohlraums 16 mindestens 1 bis 3 mm beträgt, wobei der Wert der geringsten Wandstärke mit zunehmender Sprödigkeit des porösen Materials größer gewählt werden sollte. Der Durchmesser des Hohlraums 16 ist zu dem kleineren Wert hin durch die Länge des Rohrs 16 beschränkt, falls der Hohlraum 16 aus einem vollen Zylinder spanend, beispielsweise mit einem Bohrer und einem Fräser, herausgearbeitet wird. Ein Fräser, vorzugsweise Kegelfräser, ist bei gegebener Länge nicht beliebig schlank. Das poröse Rohr 15 kann aus

den verschiedensten Materialien hergestellt sein, solange das Rohrmaterial mit den Hilfs- und/oder Beschichtungsflüssigkeiten kompatibel ist. Geeignete Rohrmaterialien sind beispielsweise Polyethylen, rostfreier Stahl und Glas.

Mittels der Variation der Wandstärke wird eine die Führungsfläche 17 abwärts strömende Grenzschichtströmung B aus der Hilfsflüssigkeit gebildet (Figur 10), in der die Hilfsflüssigkeit über die Fallhöhe des Vorhangs V überall die gleiche Geschwindigkeit oder zumindest im Wesentlichen die gleiche Geschwindigkeit wie die Vorhangflüssigkeit hat, so dass die Vorhangströmung V an ihren beiden Rändern durch die Anbindung an die Führungsfläche 17 nicht verzögert, aber auch nicht beschleunigt wird.

Gegenüber einer ebenen Fläche als Führungsfläche besteht der Vorteil der konvexen Führungsfläche 17 darin, dass der Vorhang V bei einer eventuellen Auslenkung seiner Fallkurve, beispielsweise aufgrund des tea-pot Effekts, stets auf den in Bezug auf den Vorhang V vorstehenden Bereich, im Falle einer stetig gekrümmten Führungsfläche 17 vorstehenden Punkt, Ort entlang der Führungsfläche 17 zurückgeführt wird. Bei einer Auslenkung des Vorhangs V müsste sich dieser in Fallrichtung verbreitern, um mit der Führungsfläche 17 in Berührung zu bleiben, was er in Folge der Kapillarkräfte nicht machen will. Dadurch wird vermieden, dass der Vorhang V bei starker Auslenkung vor allem in den Randzonen an einem ungünstigen Auftreffort auf das zu beschichtende Substrat 1 auft trifft oder gar die Seitenführung verlässt. Mit der Führungsfläche 17 wird die Auftreffzone des Vorhangs V daher genauer bestimmt als mit ebenen Führungsflächen, was insbesondere dann von Vorteil ist, wenn das zu beschichtende Substrat 1 im Bereich der Auftreffzone des Vorhangs V derart gestützt wird, dass der Vorhangauftreffwinkel vom Auftreffort über der Oberfläche der Stützeinrichtung, beispielsweise der Walze 3, abhängt.

Figur 9 verdeutlicht diese Verhältnisse im Bereich des Auftreffpunkts A. Der Winkel β bestimmt den Ort des Auftreffpunkts A des Vorhangs V auf dem durch die Walze 3 gestützten Substrat bezogen auf die vertikal weisende Radiale auf die Drehachse der Walze 3. Ohne die Rückführung des Vorhangs V durch die konvexe Führungsfläche 17 würde

sich die Winkellage des Auftreffpunkts A, ausgedrückt durch den Lagewinkel β , in Abhängigkeit von der Größe des tea-pot Effekts und/oder anderen Störungen ändern.

Damit der mechanische Übergang zwischen der Düsenseitenberandung 8 der Filmströmung F und der Führungsfläche 17 der Vorhangströmung V stufenlos erfolgt, sollte die Führungsfläche 17 oder besser noch der Halter 18 verstellbar angeordnet sein. Vorzugsweise ist der Halter 18 auf einem dreidimensionalen Koordinatentisch montiert. Dadurch kann die Position der Führungsfläche 17 perfekt eingestellt werden, ohne die Düsenlippe 6 bei der Einstellung zu beschädigen. Insbesondere ermöglicht die verstellbare Anordnung ein optimales Anpassen der Position der Führungsfläche 17 an die Fallkurve des Vorhangs V, sollte die Fallkurve in Folge des tea-pot Effekts stark von der Vertikalen abweichen.

Die Hilfsflüssigkeit, die entlang der Führungsfläche 17 abwärts fließt, wird am unteren Ende der Führungsfläche 17 abgesaugt, bevor sie auf das Substrat 1 auftrifft.

Figur 10 zeigt die Verhältnisse am unteren Ende der Führungsfläche 17. Vertikal unterhalb der Führungsfläche 17 ist eine Trenneinrichtung 25 für die in der Grenzschicht B an der Führungsfläche 17 abwärts fließende Hilfsflüssigkeit angeordnet und an dem Halter 18 befestigt. Die Trenneinrichtung 25 ist als Trennblech gebildet und wird im Folgenden auch so bezeichnet. Die Führungsfläche 17 ist mit ihrem unteren Ende auf einen Absatz des Halters 18 aufgesetzt. Der Halter 18 verlängert somit die Führungsfläche 17 um ein kleines Stück abwärts. Zwischen dem unteren Ende des Halters 18 und dem darunter benachbart gegenüberliegenden Trennblech 25 verbleibt in der Verlängerung der Führungsfläche 17 eine spaltförmige, schmale Saugöffnung 23, durch die hindurch die Hilfsflüssigkeit der Grenzschicht B über einen Saugkanal 24 und die Flüssigkeitsabführung 21 von dem Vorhang V weg abgesaugt wird.

Das Trennblech 25 ist in einem möglichst geringen Abstand 6 über der Oberfläche des Substrats 1 angeordnet. Es bildet einen Winkel δ_1 gegenüber der zu beschichtenden Oberfläche des Substrats 1 und ragt mit einer Länge L in den Vorhang V hinein. Die Länge L ist größer als die größte Dicke der Grenzschichtströmung B. Es wird also nicht nur

Hilfsflüssigkeit abgesogen, sondern auch ein Teil der Vorhangflüssigkeit, dessen Größe von dem Abstand K abhängt, der sich zwischen der Abtrennkante des Trennblechs 25 und der Grenzschicht B auf der Höhe der Abtrennkante ergibt. Der Abstand K wird vorteilhafterweise für jede spezifische Anwendung eigens minimiert. Typische Werte für K liegen im Bereich von 1 bis 5 mm. Die Dicke des Trennblechs 25 wird so dünn wie möglich gewählt, um Bremseffekte in der Vorhangströmung V zu minimieren, und es wird so dick wie nötig gewählt, um die mechanische Stabilität der Trenneinrichtung zu gewährleisten. Typische Werte der Blechdicke liegen im Bereich von 0,2 bis 1 mm.

Der Winkel δ_1 des Trennblechs 25 wird vorteilhafterweise so gewählt, dass sich die Vorhangflüssigkeit sauber und insbesondere ohne Benetzung und deshalb Verschmutzung der Unterseite des Trennblechs 25 von dessen Abtrennkante ablöst. Der optimale Wert des Winkels δ_1 hängt von den Benetzungseigenschaften zwischen Trennblech 25 und Vorhangflüssigkeit sowie von der vertikalen Fallgeschwindigkeit der Vorhangströmung V ab. Der optimale Wert des Winkels δ_1 liegt im Bereich von -60° bis $+60^\circ$ und wird durch Versuch für jede spezifische Anwendung bestimmt. Im Allgemeinen ist eine positive Anstellung des Trennblechs 25 vorteilhaft, d. h. das Trennblech 25 ragt wie in Figur 10 gezeigt nach aufwärts in die Vorhangströmung V. Vorteilhaft ist es ferner, wenn das Trennblech 25 oder eine anders gebildete Trenneinrichtung so geformt ist, dass sich zwischen der Unterseite des Trennblechs 25 und der zugewandten Oberfläche des Substrats 1 ein schmäler Spalt bildet, der sich von der Vorhangströmung V aus gesehen bis zu einer schmalsten Stelle verengt, die im Bereich der Verlängerung der Führungsfläche 17 liegen sollte, und von dort aus wieder erweitert. Im Ausführungsbeispiel findet die Verengung unter dem Winkel δ_1 statt und die Erweiterung unter dem Winkel δ_2 , so dass die Unterseite der Trenneinrichtung und im Ausführungsbeispiel das gesamte Trennblech 25 die Form eines aufgespreizten V haben.

Jenseits der Abtrennkante des Trennblechs 25 fällt die Vorhangflüssigkeit auf das zu beschichtende Substrat 1, wobei sich die Vorhangströmung V zwischen der Abtrennkante und dem Substrat 1 seitlich wieder zusammenzieht, weil sie in diesem Bereich nicht mehr geführt wird. Das geringe Zusammenziehen des Vorhangs V im untersten Bereich führt zu einem Randwulst auf dem beschichteten Substrat 1. Damit die Größe des Randwulstes

minimiert werden kann, sollte die Höhe J der Abtrennkante über dem Substrat 1 für jede spezifische Anwendung minimiert werden. J hängt von der Länge L und dem Winkel δ_1 ab sowie von der lichten Höhe G der engsten Stelle zwischen dem Substrat 1 und der Trenneinrichtung 25, die im Ausführungsbeispiel zwischen dem Substrat 1 und einer Knickstelle des Trennblechs 25 gebildet ist. G wiederum kann von der Dicke der Klebestelle von zwei miteinander verbundenen Substratabschnitten bzw. Bahnen abhängen und wird so groß eingestellt, dass jede Klebestelle ohne Berührung passieren kann. Typische Werte für J liegen im Bereich von 1 bis 5 mm. Die Länge L wird so gewählt, dass die Hilfsflüssigkeit auch im Falle von wellenförmigen Störungen in der Grenzschicht B sowie sämtliche Vorhangflüssigkeit, die gegebenenfalls in Folge von möglicherweise nicht ganz zu verhindern Grenzschichteffekten mit einer geringeren Geschwindigkeit als die Fallgeschwindigkeit der freien Vorhangströmung V nach unten fließt, abgetrennt und abgesaugt werden. Dadurch werden unerwünschte Randeffekte beim Beschichten (dynamische Benetzung) minimiert.

Die Spaltweite der Saugöffnung 23 wird vorteilhafterweise ebenfalls für jede spezifische Anwendung eigens optimiert. Die Spaltweite sollte mit zunehmender Viskosität der Vorhangflüssigkeit und zunehmendem Volumenstrom der abzusaugenden Flüssigkeiten, d. h. mit zunehmender Länge L, zunehmen. Typische Werte für die Spaltweite der Saugöffnung 23 liegen im Bereich von 0,5 bis 2 mm. Als Saugquellen für die Entfernung der Hilfs- und Vorhangflüssigkeiten eignen sich Vorrichtungen zur Erzeugung eines konstanten Unterdrucks, insbesondere wasser- oder luftbetriebene Venturidüsen oder Vakuumventilatoren in Kombination mit einem Abscheidegefäß und einer Sumpfpumpe mit Niveauüberwachung.

Die Figuren 11 und 12 zeigen ein drittes Teilsystem der Seitenberandung, das auf das bereits beschichtete Substrat 1 wirkt. Das dritte Teilsystem beinhaltet zwei schmale Saugdüsen 27 zur Absaugung der Randwulste 2' auf beiden Seiten des beschichteten Substrats 1. Die Saugdüsen 27 werden zwischen dem Vorhangauftreffpunkt A (Figur 9) und einem Einlass eines nachfolgenden Trockners montiert, vorzugsweise innerhalb der ersten 500 mm nach dem Vorhangauftreffpunkt A, um zu garantieren, dass die Randwulste noch flüssig und deshalb leicht absaugbar sind. Die Saugdüsen 27 sind als schmale

Schlitzdüsen mit einer in Förderrichtung des Substrats 1 gemessenen, aktiven Saugbreite ihrer jeweiligen Saugöffnung von 5 bis 20 mm, vorzugsweise 8 bis 12 mm, gebildet. Die Saugdüsen 27 werden einerseits an eine Vakuumquelle 26 angeschlossen, beispielsweise luft- oder wasserbetriebene Venturidüsen oder Vakuumventilatoren in Kombination mit einem Abscheidegefäß und einer Sumpfpumpe mit Niveauüberwachung, und andererseits je in unmittelbarer Nähe ihrer Düsenlippe mit einer Spülflüssigkeit, z. B. Wasser oder ein organisches Lösemittel, gespeist, wodurch der Gefahr von Verstopfungen entgegengewirkt wird.

Die Saugdüsen 27 sind je an einer Vertikalführung 28 vertikal zur beschichteten Oberfläche des Substrats verstellbar montiert, damit die Distanz zwischen ihrer Düsenlippe und dem Randwulst optimal und präzise für jede Anwendung eingestellt werden kann. Die Vertikalführungen 28 werden auf einem als Querführung 29 dienenden Querträger so montiert, dass ihre Position quer zu der Förderrichtung des Substrats 1 optimal und präzise mit der Position der Randwulste 2' übereinstimmt. Die optimale Position der Saugdüsen 27 ist dann erreicht, wenn die Randwulste so abgesaugt werden, dass Beschichtungsverluste quer zu der Förderrichtung des Substrats 1 minimiert, die Restwulste ausreichend getrocknet und Wickelprobleme (Kleben oder ungleichmäßige Härte der Rolle) bei der Aufwicklung, falls das Substrat eine endlos geförderte Bahn ist, vermieden werden. Schließlich werden die Vertikalführungen 28 auf der Querführung 29 so montiert, dass sie mittels Langhub, der von pneumatischen Zylindern ausgeführt wird, soweit von der Oberfläche des Substrats 1 entfernt werden können (50-150 mm), um eine bequeme Reinigung der Saugdüsen 27 zu ermöglichen.

Jeweils mit Blick auf die spezifische Anwendung wird vorteilhafterweise ferner entschieden, ob das beschichtete Substrat 1 direkt unterhalb der Saugdüsen 27 frei schwebend sein oder unterstützt werden soll, beispielsweise mittels der Gegenwalze 3. Bei frei schwebendem Substrat 1 ist die Saugleistung der Saugdüsen 27 weniger exakt bestimmt, wodurch sich die Gefahr des Ansaugens des Substrats 1 ergibt, dafür können Verdickungen, insbesondere Klebestellen mit Überlappung, passieren, ohne dass die Saugdüsen 27 kurzzeitig angehoben werden müssen und ohne die Gefahr einer Beschädigung der Düsenlippen der Saugdüsen 27. Wird das Substrat 1 von einer

Gegenwalze 3 unterstützt, so ist die Saugleistung der Saugdüsen 27 exakt und reproduzierbar definiert. Allerdings werden die Saugdüsen 27 vorteilhafterweise in solch einem geringen Abstand über der Substratoberfläche angeordnet, dass dicke Klebestellen nur passieren können, wenn die Saugdüsen 27 kurzzeitig angehoben werden. Eine bevorzugte Montageposition für die Saugdüsen 27 befindet sich in unmittelbarer Nähe einer Abstützung, vorzugsweise stützenden Gegenwalze 3, insbesondere im Bereich von 10 bis 50 mm nach dem Ablösepunkt des Substrats 1 von der Abstützung 3. Diese Position bietet optimale Betriebsbedingungen bezüglich Starrheit des Substrats (Saugwirkung) und Elastizität des Systems (Klebestellenpassage).

Bezugszeichen

- 1 Substrat
- 2 Beschichtung
- 2' Randwulst
- 3 Walze
- 4 Düsenvorrichtung
- 5 Düsenoberfläche
- 6 Düsenlippe
- 7 Austrittsöffnung
- 8 Düsenseitenberandung
- 9 Kante
- 10 durchlässige Wandstruktur, Platte
- 11 Flüssigkeitszuführung
- 12-14 –
- 15 Vorhangführungsstruktur, Rohr
- 16 Hohlraum
- 17 Führungsfläche
- 18 Halter
- 19 Abdichtung
- 20 Flüssigkeitszuführung
- 21 Flüssigkeitsabführung

- 22 —
23 Saugöffnung
24 Saugkanal
25 Trenneinrichtung, Trennblech
26 Vakuumquelle
27 Saugdüse
28 Koordinatentisch, Vertikalführung
29 Querführung
- A Auftreffpunkt des Vorhangs
B Grenzschichtströmung
F Filmströmung, Film
G Weite der Engstelle zwischen Trenneinrichtung und Substrat
J Abstand der Abtrennkante von dem Substrat
K Abstand der Abtrennkante von dem Schmierfilm
L Abstand der Abtrennkante von der Führungsfläche
S Schmierfilm
V Vorhangströmung, Vorhang
d Hohlraumdurchmesser
 α Kantenwinkel
 β Lagewinkel des Auftreffpunkts
 δ_1 Neigungswinkel
 δ_2 Neigungswinkel
 η Umfangserstreckung der Führungsfläche

Patentansprüche

1. Vorhangbeschichter für die Beschichtung eines bewegten Substrats (1), umfassend:
 - a) eine Düsenvorrichtung (4) für die Erzeugung eines auf das Substrat (1) fallenden Vorhangs (V) aus wenigstens einer Beschichtungsflüssigkeit
 - b) und eine Vorhangführungsstruktur (15) mit einer Führungsfläche (17), die den Vorhang (V) an der Seite führt,
 - c) wobei die Führungsfläche (17) über eine quer zu dem Vorhang (V) gemessene, die Vorhangdicke übertreffende Breite zu dem Vorhang (V) konvex ist.
2. Vorhangbeschichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsfläche (17) quer zu dem Vorhang (V) gekrümmmt ist.
3. Vorhangbeschichter nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsfläche (17) eine Zylinderfläche ist.
4. Vorhangbeschichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsfläche (17) über ihre Breite einen Bogen bildet, der einen Krümmungsradius von entlang des Bogens überall wenigstens 5 mm aufweist.
5. Vorhangbeschichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsfläche (17) über ihre Breite einen Bogen bildet, der sich über einen Bogenwinkel (η) von wenigstens 60° und weniger als 180° erstreckt, wobei der Bogenwinkel (η) bei entlang des Bogens veränderlichem Krümmungsradius auf den mittleren Krümmungsradius (arithmetisches Mittel) und im Falle eines konstanten Krümmungsradius auf diesen bezogen ist.
6. Vorhangbeschichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungsfläche (17) über ihre Breite konvex gekrümmmt ist mit einem Krümmungsradius von wenigstens 5 mm und höchstens 50 mm.

7. Vorhangbeschichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Rohr die Vorhangführungsstruktur (15) bildet.
8. Vorhangbeschichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Führungsfläche (17) über eine mit der Vorhangführungsstruktur (15) verbundene Flüssigkeitszuführung (20) eine Hilfsflüssigkeit zuführbar und die Führungsfläche (17) mit der zugeführten Hilfsflüssigkeit benetzbar ist.
9. Vorhangbeschichter nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorhangführungsstruktur (15) ein Hohlprofil ist mit einem Hohlraum (16) und einem den Hohlraum (16) umgebenden Mantel, der wenigstens in einem die Führungsfläche (17) bildenden Umfangssegment für die Hilfsflüssigkeit durchlässig ist.
10. Vorhangbeschichter nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens das Umfangssegment der Vorhangführungsstruktur (15) aus einem porösen Werkstoff besteht.
11. Vorhangbeschichter nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorhangführungsstruktur (15) zumindest über einen Teil ihres Mantels, wobei dieser Teil nicht die Führungsfläche (17) bildet, gegen einen Durchtritt der Hilfsflüssigkeit abgedichtet ist.
12. Vorhangbeschichter nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine mittels der Flüssigkeitszuführung (20) der Führungsfläche (17) zugeführte Hilfsflüssigkeit, die einen die Führungsfläche (17) benetzenden Grenzschichtfilm (B) bildet, aufgrund ihres eigenen Gewichts eine Strömungsgeschwindigkeit aufweist, die zumindest über einen größeren Teil der Führungsfläche (17) der Fallgeschwindigkeit der freien Vorhangströmung (V) entspricht.

13. Vorhangbeschichter nach einem der vier vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorhangführungsstruktur (15) aus einem porösen, für die Hilfsflüssigkeit durchlässigen Werkstoff besteht und eine Wandstärke der Vorhangführungsstruktur (15) zumindest in einem die Führungsfläche (17) bildenden Bereich in Anpassung an die Fallgeschwindigkeit der freien Vorhangströmung (V) variiert.
14. Vorhangbeschichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorhangführungsstruktur (15) auf einem Koordinatentisch relativ zu der Düsenvorrichtung (4) verstellbar gelagert ist.
15. Vorhangbeschichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass unterhalb der Führungsfläche (17) eine Saugeeinrichtung (23, 24) und eine in den Vorhang (V) ragende Trenneinrichtung (25) vorgesehen sind, um eine an der Führungsfläche (17) abwärts strömende Flüssigkeit über dem Substrat (1) aufzufangen und die aufgefangene Flüssigkeit abzusaugen.
16. Vorhangbeschichter nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass eine Saugöffnung (23) der Saugeeinrichtung (23, 24) in einer Innenkante zwischen der Trenneinrichtung (25) und der Führungsfläche (17) oder einer die Führungsfläche (17) verlängernden Fläche eines Halters (18) der Führungsfläche (17) gebildet ist.
17. Vorhangbeschichter nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Trenneinrichtung (25) und dem Substrat (1) ein Spalt gebildet ist, der sich von einem in den Vorhang (V) ragenden Ende der Trenneinrichtung (25) bis zu einer engsten Stelle verengt und anschließend wieder erweitert.
18. Vorhangbeschichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die Düsenvorrichtung umfassend:
 - eine zur Horizontalen geneigte Düsenoberfläche (5),

- eine Austrittsöffnung (7), durch die die Beschichtungsflüssigkeit der Düsenoberfläche (5) so zuführbar ist, dass die Beschichtungsflüssigkeit auf der Düsenoberfläche (5) einen abwärts strömenden Film (F) bildet,
 - eine Düsenlippe (6), die ein stromabwärtiges Ende der Düsenoberfläche (5) bildet,
 - und eine Düsenberandung (8) zur seitlichen Begrenzung der Filmströmung (F).
19. Vorhangbeschichter nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsenseitenberandung (8) von der Düsenlippe (6) bis zu einer Stelle stromaufwärts von der Düsenlippe (6) überall eine auf die Düsenoberfläche (5) gemessene Höhe aufweist, die der jeweils lokalen Dicke der freien Filmströmung (F) zumindest im Wesentlichen entspricht, so dass ein Überströmen der Düsenseitenberandung (8) und ein Hochziehen von Beschichtungsflüssigkeit der Filmströmung (F) an der Düsenseitenberandung (8) verhindert werden.
20. Vorhangbeschichter nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsenseitenberandung (8) von der Austrittsöffnung (7) bis zu der Düsenlippe (6) überall eine derart an die freie Filmströmung (F) angepasste Höhe aufweist.
21. Vorhangbeschichter nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsenvorrichtung (4) in Strömungsrichtung der Filmströmung (F) hintereinander mehrere Austrittsöffnungen (7) für Beschichtungsflüssigkeiten aufweist, um auf der Düsenoberfläche (5) eine mehrschichtige Filmströmung (F) bilden zu können, und dass die Höhe der Düsenseitenberandung (8) eine bis wenigstens zu der stromabwärtigsten, vorzugsweise bis zu der stromaufwärtesten der Austrittsöffnungen (7) derart an die freie Filmströmung (F) angepasste Höhe aufweist.
22. Vorhangbeschichter nach einem der vier vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsenvorrichtung (4) eine Flüssigkeitszuführung (11) umfasst, mittels der der Düsenseitenberandung (8) eine Hilfsflüssigkeit zuführbar ist, um zumindest in einem Längenabschnitt der Düsenseitenberandung (8) einen die

Filmströmung (F) von der Düsenseitenberandung (8) trennenden Schmierfilm der Hilfsflüssigkeit zu bilden.

23. Vorhangbeschichter nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsenseitenberandung (8) eine für die Hilfsflüssigkeit durchlässige Wandstruktur (10) umfasst, die an die Flüssigkeitszuführung (11) angeschlossen ist.
24. Vorhangbeschichter nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die durchlässige Wandstruktur (10) aus einem porösen Werkstoff gebildet ist.
25. Vorhangbeschichter nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schmierfilm stromabwärts von der Austrittsöffnung (7) oder einer stromabwärtigsten von mehreren Austrittsöffnungen (7) gebildet wird.
26. Vorhangbeschichter nach einem der acht vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein oberer Rand der Düsenseitenberandung (8) als Kante (9) mit einem eingeschlossenen Kantenwinkel (α) von höchstens 90° , vorzugsweise höchstens 80° , gebildet ist.
27. Vorhangbeschichter nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Kantenwinkel (α) wenigstens 30° beträgt.
28. Vorhangbeschichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für ein Absaugen eines Randwulstes (2') der auf dem Substrat (1) abgelegten Beschichtungsflüssigkeit an wenigstens einem der beiden Ränder des beschichteten Substrats (1) wenigstens eine Saugdüse (27) angeordnet ist.
29. Vorhangbeschichtungsverfahren, bei dem ein Vorhang (V) aus wenigstens einer Beschichtungsflüssigkeit frei fallend auf einem bewegten Substrat (1) abgelegt und an beiden Seiten je mittels einer quer zu dem Vorhang (V) konvexen Führungsfläche (17) geführt wird.

BEST AVAILABLE COPY

Fig. 1

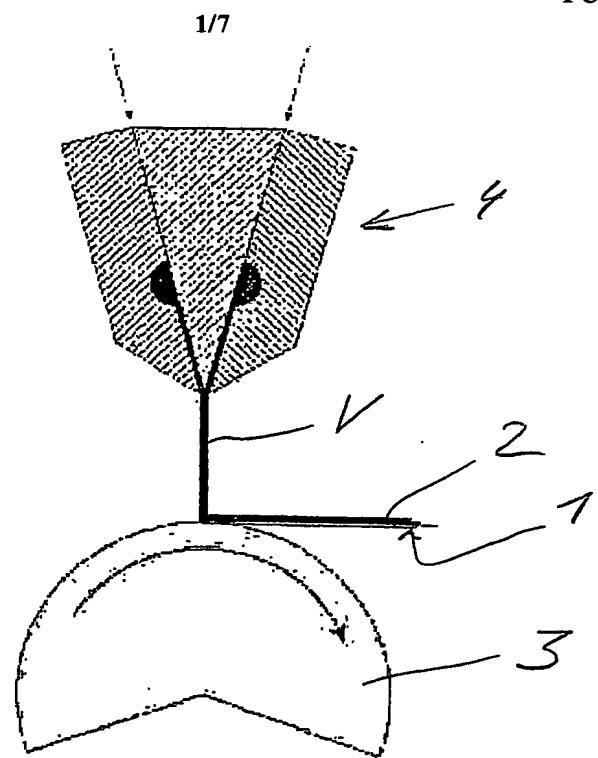


Fig. 2

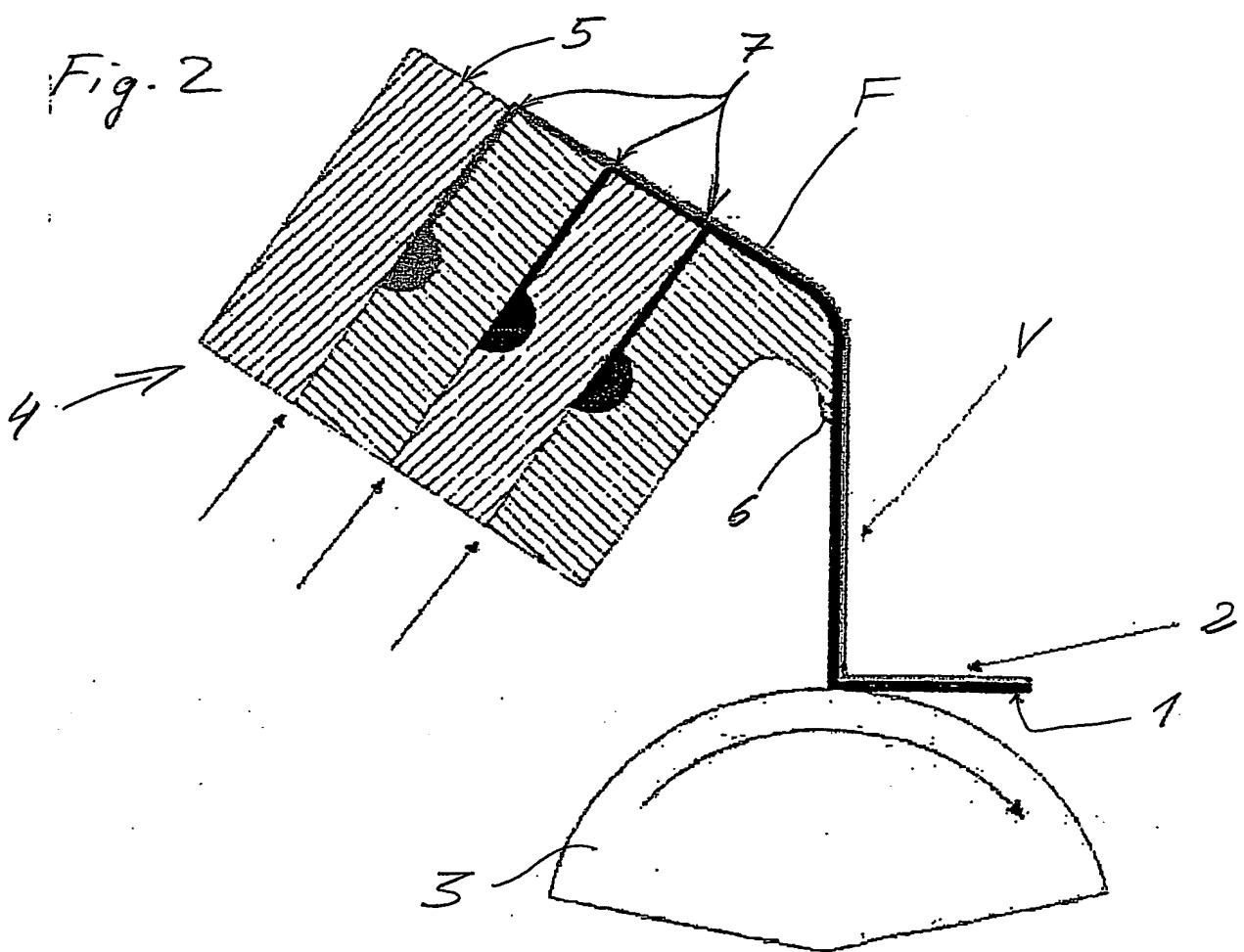


Fig. 3

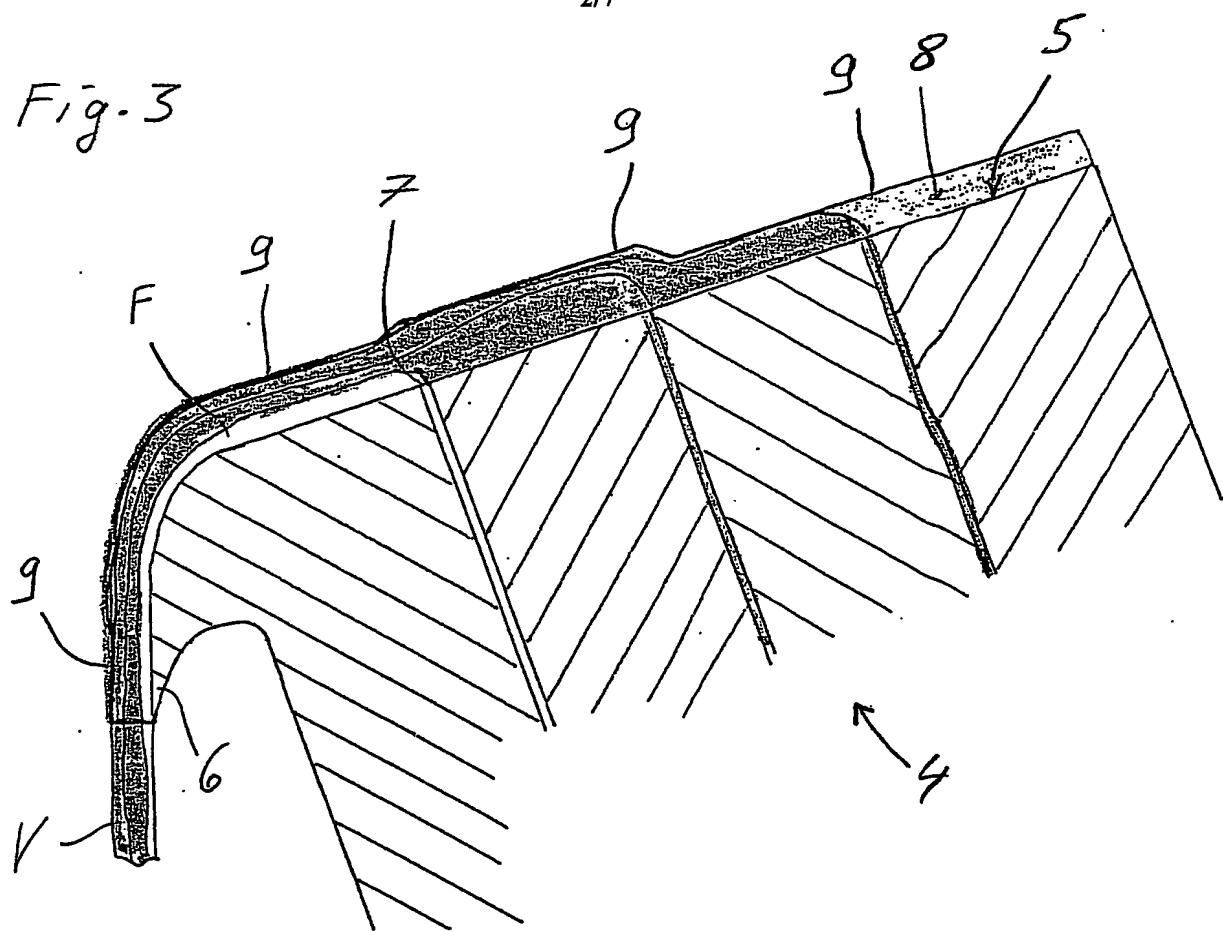


Fig. 4

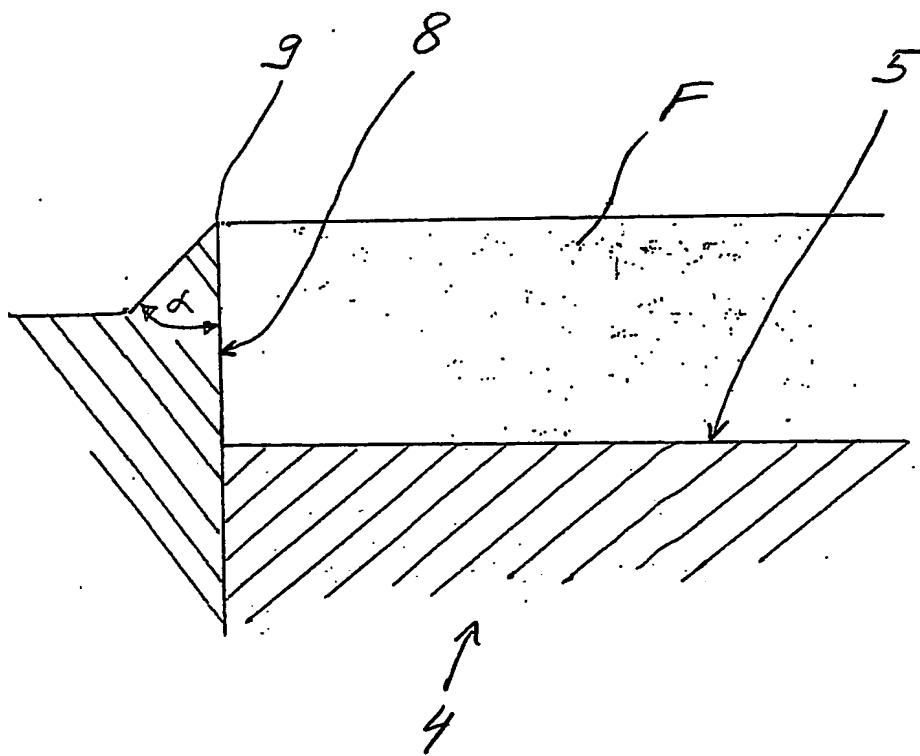
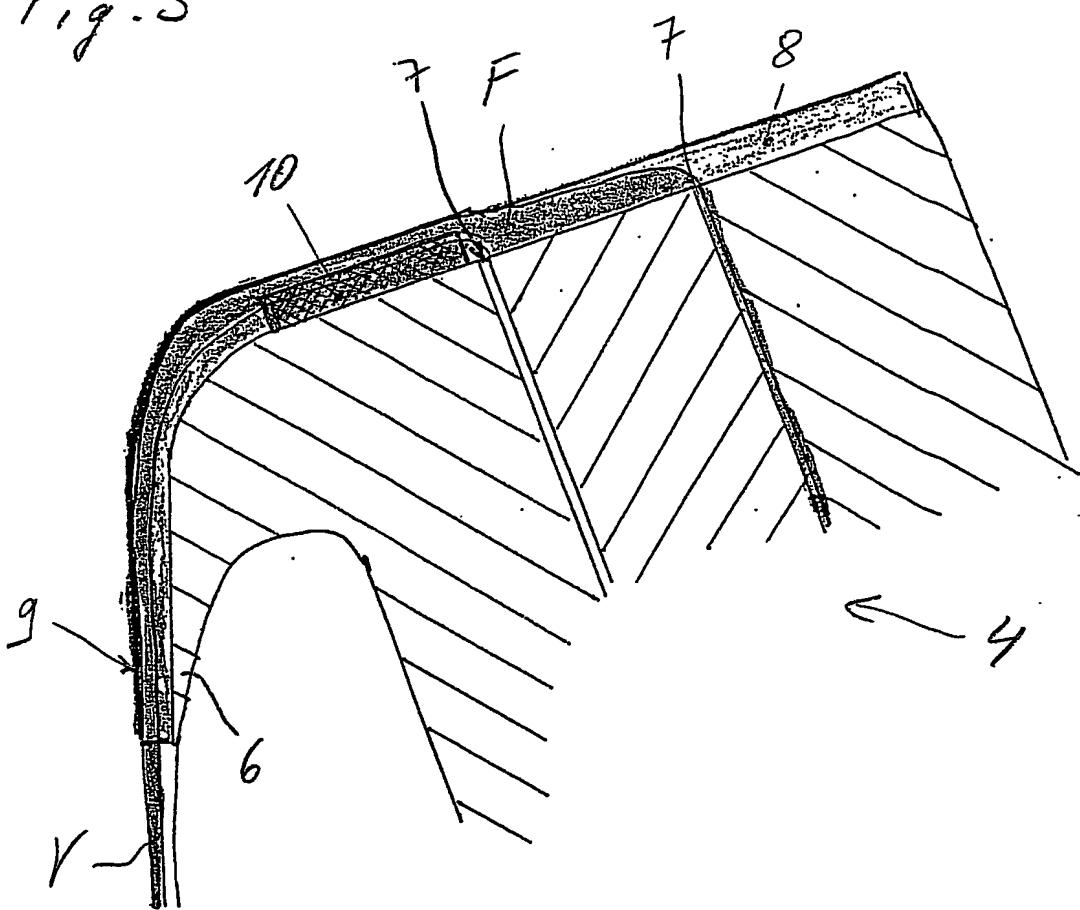
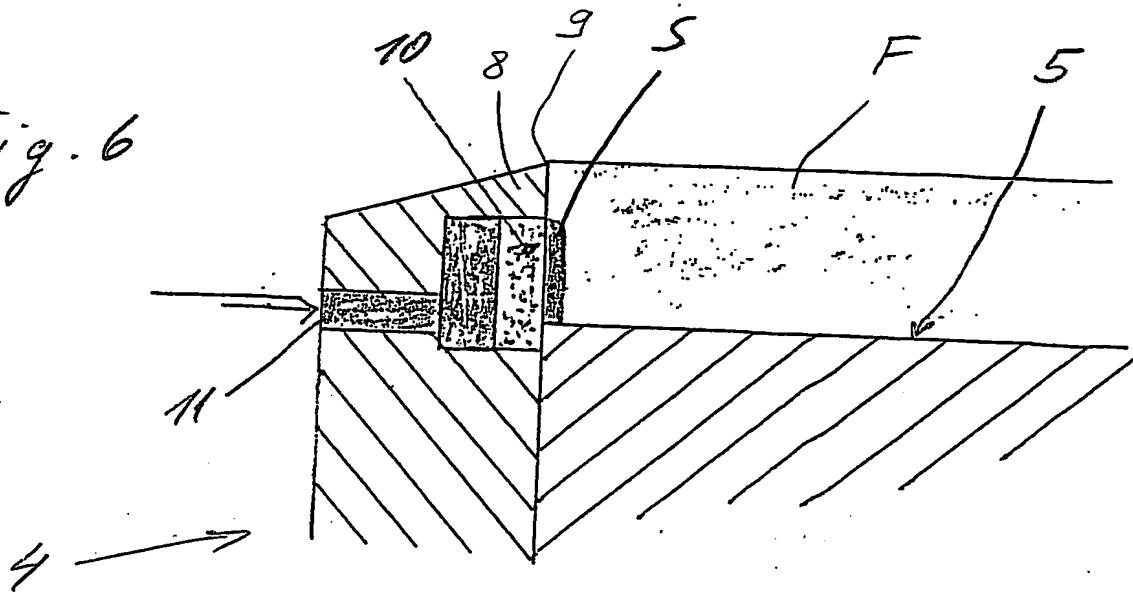


Fig. 5



BEST AVAILABLE COPY

Fig. 6



BEST AVAILABLE COPY

Fig. 7

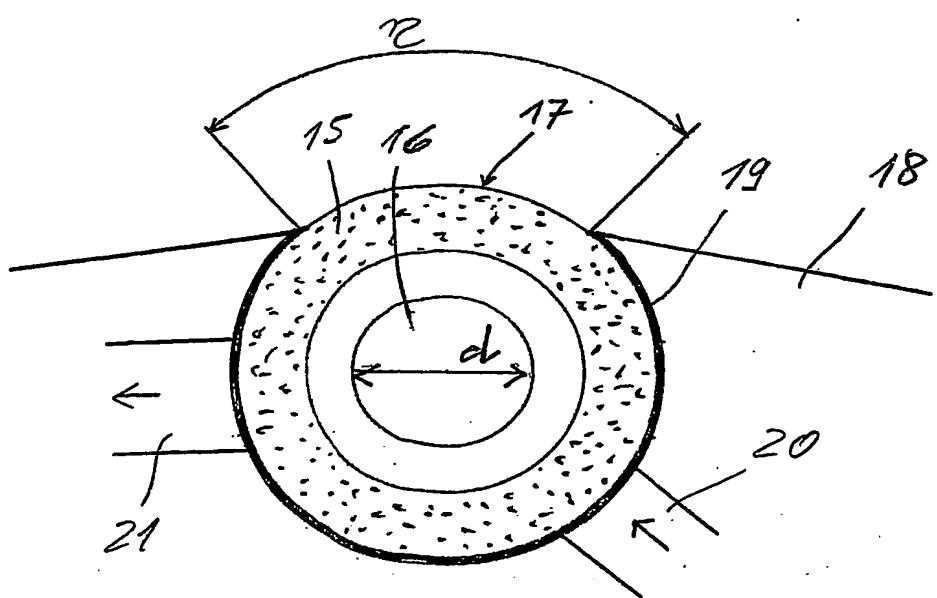
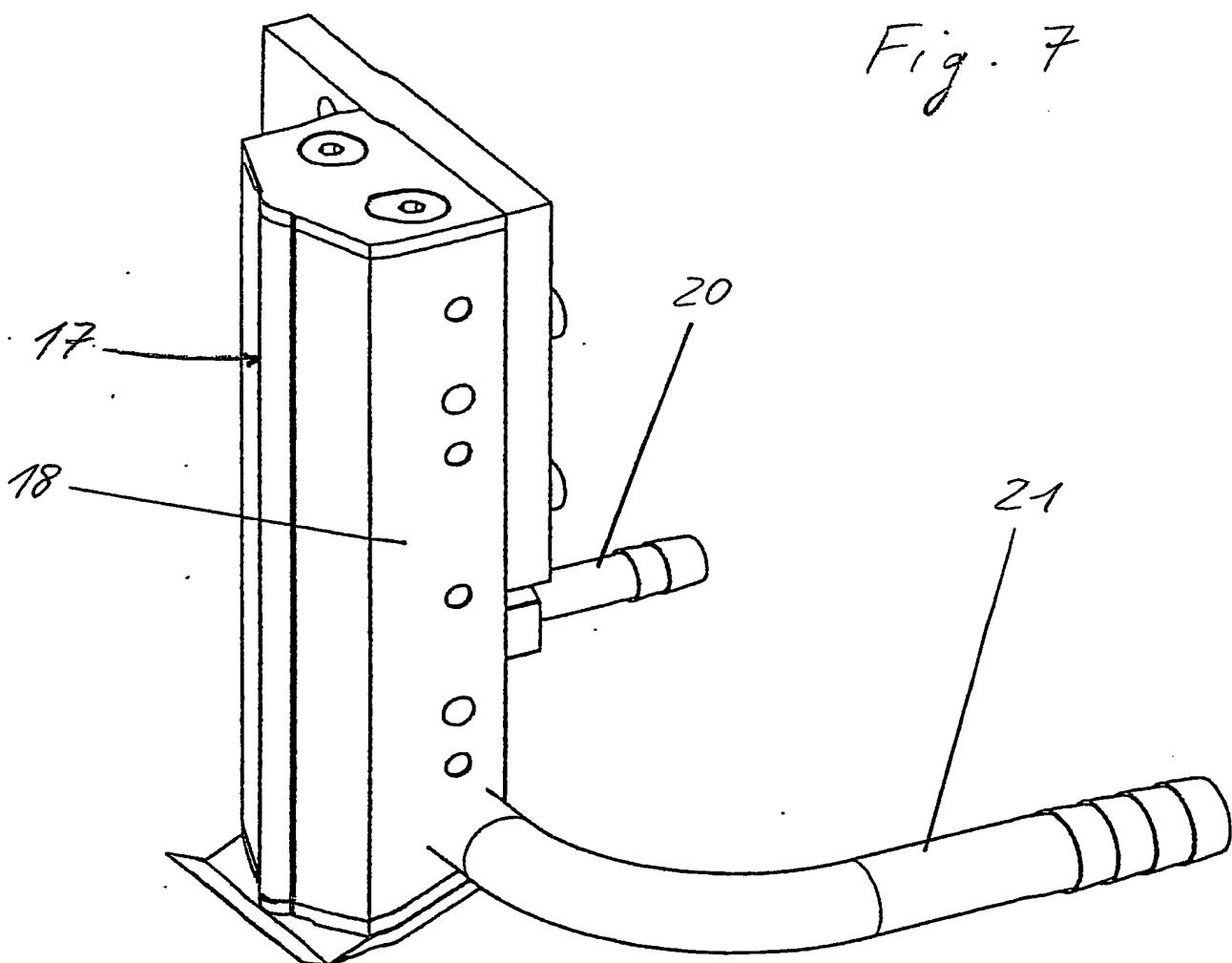
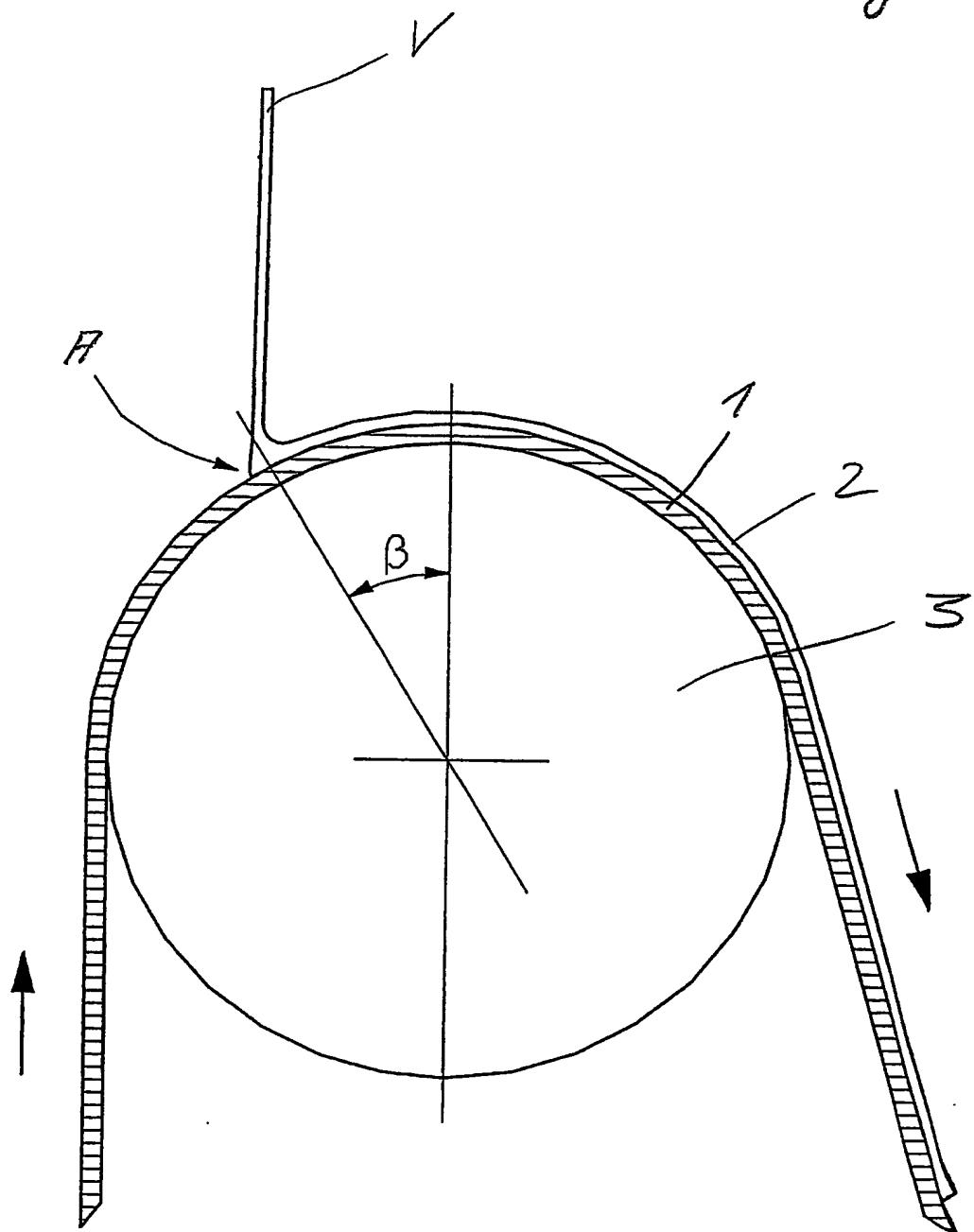


Fig. 8

BEST AVAILABLE COPY

Fig. 9



BEST AVAILABLE COPY

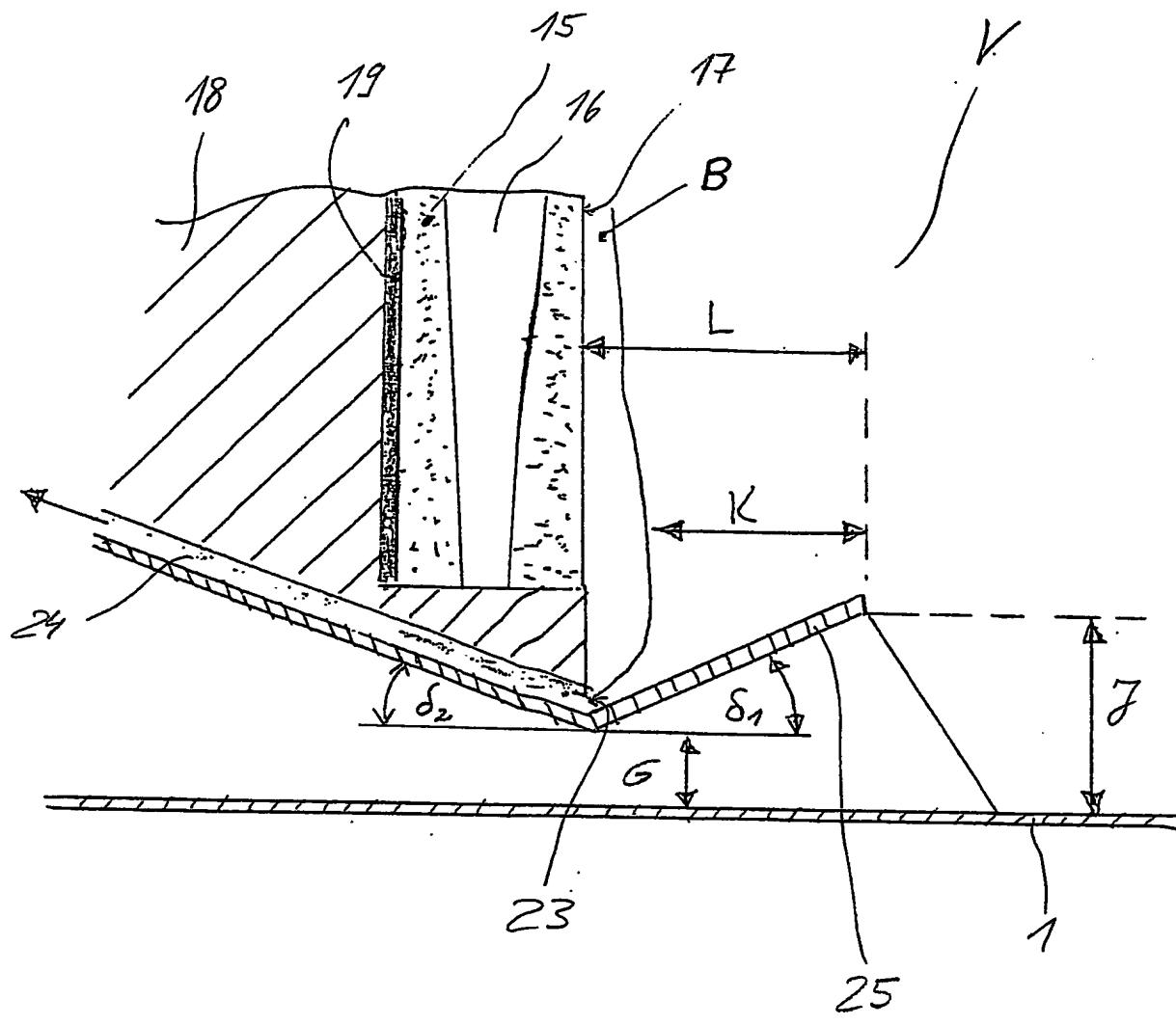


Fig. 10

BEST AVAILABLE COPY

